

不同刈割期甘蔗营养成分和生物产量研究及饲用价值评价

李孟周¹, 王智能², 陆鑫², 陈浩文¹, 李登宇¹, 范源洪^{1,3*}

1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省农业科学院甘蔗研究所, 云南开远 661600; 3. 云南省高原特色农业产业研究院, 云南昆明 650201

摘要: 畜牧产业的快速发展对饲草饲料的需求日益增加, 筛选新的饲料作物品种是当务之急。本研究以 2 个国审牧草甘蔗品种为对照, 对 15 个甘蔗品种的生物产量和 10 个青饲料常规营养成分指标进行测定分析, 探究甘蔗不同刈割期的主成分变化规律, 评价甘蔗饲用价值, 为甘蔗一年多采和全株饲用提供科学依据。通过因子主成分分析筛选出粗蛋白 (CP)、酸性洗涤纤维 (ADF)、水溶性碳水化合物 (WSC)、粗脂肪 (EE)、钙 (Ca) 5 个主要指标, 基本包含了所测指标的全部信息。结果显示: 15 个甘蔗 CP 含量最高的是‘云蔗 12-201’, 为 8.80%; ADF 含量最低的是‘ROC22’, 为 35.25%; WSC 含量最高的是‘云蔗 00-290’, 为 6.16%; EE 含量最高的是‘云蔗 01-286’, 为 1.40%。其中‘ROC22’‘云蔗 12-201’的 CP 含量超过 CK1、CK2; ‘Q27’‘ROC22’‘云蔗 01-286’‘云蔗 06-160’‘云蔗 12-142-1-J’‘滇蔗 11-728’的 ADF 含量均低于 CK1、CK2; ‘Q27’‘云蔗 00-290’‘云蔗 12-142-1-J’‘云蔗 16-16’‘滇蔗 11-726’‘滇蔗 11-728’的 WSC 含量均高于 CK1、CK2; 15 个甘蔗的 EE 含量与 CK1 无显著差异, 除‘云蔗 06-160’外, 其余 14 个甘蔗 EE 含量与 CK2 差异不显著; 除‘滇蔗 11-726’外, 其余 14 个甘蔗的 Ca 含量与 CK1、CK2 均不存在显著差异。所有甘蔗品种第一次刈割期的 CP 含量均超过第二次, 第一次刈割期的 ADF、WSC、EE、Ca 含量高于第二次的分别有 12、5、4、14 个甘蔗品种。15 个甘蔗品种的 2 次刈割合计产量在 71.40~163.95 t/hm² 之间, 均大于 CK1、CK2。15 个甘蔗品种的 CP、ADF、WSC、EE 单位面积产量均超过 CK1 和 CK2, 15 个甘蔗品种的 Ca 产量超过 CK2。综合评价表明, 甘蔗可以作为反刍动物饲料, 营养价值和经济效益较高。本研究筛选出‘Q27’‘ROC22’‘云蔗 01-286’‘云蔗 12-201’‘滇蔗 11-728’等 5 个甘蔗品种作为饲用甘蔗来源, 这不但可以满足饲草动物的原料需求, 而且可以形成糖畜联动的产业发展模式。

关键词: 甘蔗; 牧草; 营养成分; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S816.5 文献标识码: A

Nutritional Components and Biological Yield of Sugarcane at Different Cutting Stages and Evaluation of Feeding Value

LI Mengzhou¹, WANG Zhineng², LU Xin², CHEN Haowen¹, LI Dengyu¹, FAN Yuanhong^{1,3*}

1. Institute of Agriculture and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Institute of Sugarcane, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kaiyuan, Yunnan 661600, China; 3. Yunnan Plateau Institute of Characteristic Agriculture Industry, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: With the rapid development of the livestock industry, the demand for forage is increasing, and it is urgent to screen new forage crop varieties. In this study, two national forage sugarcane varieties were used as the control. The biological yield of 15 sugarcane varieties and the routine nutritional components of 10 green fodder were measured and analyzed to explore the principal component variation of sugarcane at different cutting stages, and evaluate the feeding value of sugarcane, so as to provide scientific basis for more than one year of sugarcane harvest and whole plant feeding. Crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF), water-soluble carbohydrate (WSC) and crude fat (EE) were selected by factor principal component analysis,

收稿日期 2022-04-23; 修回日期 2022-05-20

基金项目 云南省现代农业甘蔗产业技术体系首席科学家项目 (2018—2020)。

作者简介 李孟周 (1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 作物种质资源评价与利用。*通信作者 (Corresponding author): 范源洪 (FAN Yuanhong), E-mail: 2247888136@qq.com。

which basically contained all the information of the indexes measured. Among the 15 sugarcane varieties, 'Yunzhe 12-201' had the highest CP content, which was 8.80 %, 'ROC22' with the lowest ADF content, 35.25 %. The highest WSC content was from 'Yunzhe 00-290', 6.16 %. The highest EE content was from 'Yunzhe 01-286', 1.40 %. The CP content of 'ROC22' and 'Yunzhe 12-201' was higher than that of CK1 and CK2. The ADF content of 'Q27', 'ROC22', 'Yunzhe 01-286', 'Yunzhe 06-160', 'Yunzhe 12-142-1-J', 'Dianzhe 11-728' was lower than that of CK1 and CK2. The WSC content of 'Q27', 'Yunzhe 00-290', 'Yunzhe 12-142-1-J', 'Yunzhe 16-16', 'Dianzhe 11-726' and 'Dianzhe 11-728' was higher than that of CK1 and CK2. There was no significant difference in EE content between 15 sugarcane varieties and CK1 ($P>0.05$), except 'Yunzhe 06-160'. There was no significant difference in EE content between 14 sugarcane varieties and CK2. Except for 'Dianzhe 11-726', there was no significant difference in Ca content between 14 varieties and CK1 and CK2. The CP content of all sugarcane varieties in the first cutting period was higher than that in the second cutting period, and the ADF, WSC, EE and Ca content in the first cutting period was higher than that in the second cutting period, with 12, 5, 4 and 14 sugarcane varieties, respectively. The total yield of 15 sugarcane was 71.40–163.95 t/hm², higher than that of CK1 and CK2. The yield of CP, ADF, WSC and EE per unit area of 15 sugarcane varieties exceeded that of CK1 and CK2, and the Ca yield of 15 sugarcane varieties exceeded that of CK2. Comprehensive evaluation showed that sugarcane could be used as ruminant feed with high nutritional value and economic benefit. In this study, five varieties 'Q27', 'ROC22', 'Yunzhe 01-286', 'Yunzhe 12-201', 'Dianzhe 11-728' were selected as the sources of forage sugarcane, which could not only meet the raw material needs of forage animals, but also form an industrial development model of sugar-animal linkage.

Keywords: sugarcane; forage; nutritional components; principal component analysis; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.01.012

2020 年, 我国牛奶产量 2261 万 t, 同比增长 29.5%; 人均牛奶消费量 17.39 kg, 比 2019 年增加 3.96 kg。肉牛生产持续增长, 牛肉产量 676 万 t, 同比增长 7.2%^[1], 由此可见我国奶业生产持续发展, 而畜牧产业的快速发展对饲草饲料的需求日益增加, 筛选新的饲料作物品种是当务之急。2016 年, 农业部曾提出“粮经饲统筹、种养加结合、一二三产融合”的产业结构性调整的总体要求。2021 年全国畜牧总站在北京召开肉牛生产形势研讨会, 就对优质饲草供应不足, 养殖成本上涨等问题提出意见, 要通过粮改饲等系列政策, 解决肉牛养殖饲草料供应瓶颈等问题, 保障饲草产业发展和饲草料的供应。发展养殖业, 除了需要充足的饲草饲料外, 具有优质营养成分的饲草种类及其优良品种的选择, 同样非常重要。评价饲草的营养成分, 韩友文等^[2-3]研究认为, CP 是牧草营养品质的重要指标, 饲料蛋白含量是影响瘤胃微生物数量及活力的最重要因素。陈玉香等^[4]研究认为, ADF 含量的高低会影响牲畜对牧草的消化率, ADF 含量高, 饲草消化率低, ADF 含量低, 则饲草消化率高, 嘎尔迪等^[5]研究认为, WSC 是反刍家畜能量和脂肪贮备的主要原料。王贤等^[6-7]研究认为, EE 能提高饲料适口性和增重速度, WHEELER 等^[8]发现, 高钙处理的肉牛的产量要好于低钙组。

目前, 天然草地存在着不同程度的退化趋势, 且一到冬季其他青绿草饲料枯萎就出现严重缺乏

饲料现象, 一直以天然放牧为主的养殖模式面临着巨大的威胁, “人畜争粮”矛盾加剧。因此, 饲喂方式和饲料结构调整迫在眉睫, 甘蔗是一种比较易于栽培和管理的经济作物, 也是肉牛生产的重要原料, 甘蔗与常规牧草有极强的互补性, 能兼顾养牛业和甘蔗种植业的效益^[9]。洪琼花^[10]认为, 甘蔗有很高的能量转换能力, 其生物产量高于其他作物, 又充分利用了杂种优势, 是一种极有前途的特高产的饲料作物。甘蔗属于多年生, 甘蔗作为牛的饲料比其他大田作物有几个独特的优势, 生物产量高、适应性广、广泛种植于热带亚热带区域, 栽培和管理相对粗放, 与其他饲草有互补性(冬春季节), 能保持一贯的品质^[11]。在我国南方, 发展饲料甘蔗, 是解决饲料问题的新途径^[12], 可解决冬季和早春牛羊等食草动物的鲜草供应问题。近几年, 为进一步拓展甘蔗用途, 选育适应性广、产量高、品质好的饲料甘蔗新品种, 曾日秋^[13]对牧草甘蔗新品种选育及饲用价值方面也做了相关研究。本研究中 2 个对照组‘闵牧 101’ (CK1) 和‘闵牧 117’ (CK2) 即饲用杂交甘蔗, 二者具有适应性广、宿根性好、适口性佳及冬季营养品质好等特点。

由于甘蔗糖价影响, 市场竞争力不强, 糖价低迷, 原料蔗价格下跌, 蔗农利益得不到保障。受传统种植模式的影响, 甘蔗用作饲料的方式比较单一。如果改变甘蔗种植方式和收获时间, 以全株甘蔗作动物饲料, 以每年收获 2~3 次、每次

45~60 t/hm² 测算，这不但可以满足饲草动物的原料需求，而且可以形成糖畜联动的产业发展模式。云南甘蔗种植面积位居全国第二，如何利用这些丰富的资源发展饲料工业和畜牧业将是今后的一个发展方向^[9]。PATE 等^[11]研究认为，甘蔗饲用具有可行性，黄文琴等^[14]研究表明，当全株甘蔗在山羊饲料中的比例为 33%~60%时，能够显著提高山羊的 DM 采食量、营养物质的表观消化率和机体抗氧化性能及免疫力，全株甘蔗 DM 和 ADF 的有效降解率显著高于国产羊草，全株甘蔗是一种可供奶牛食用的消化率较高的优质粗饲料，且用其分别替代饲料中的 25%或 50%美国进口苜蓿不影响奶牛的瘤胃发酵特性和营养物质表观消化率^[15]，徐英等^[16]研究表明，在饲养条件基本相同的情况下，全株甘蔗与全株大麦混合青贮饲喂肉牛效果显著高于全株玉米青贮。我国近年来开展的牧草型甘蔗新品种培育已取得了一定成绩^[17]。

因此，本研究以 2 个审定的牧草甘蔗品种作为对照 (CK1、CK2)，15 个甘蔗品种为研究对象，测定其生物产量及 10 个青饲料常规营养成分指标并进行主成分分析，与对照比较分析，探究甘蔗不同刈割期主要营养成分含量，评价甘蔗饲用价值，为甘蔗一年多采和全株饲用提供科学依据，以满足反刍动物生产对饲草饲料需求。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验所需材料均栽培于云南省农业科学研究院甘蔗研究所田间试验基地，地理坐标为 103°26'E，23°71'N，海拔 1042.89 m。年均气温 19.8℃，年日照 2200 h，年降雨量 700 mm，为饲料作物生产提供了良好的生长环境。本次试验材料分别为‘Q27’‘FR93-910’‘CP72-3709’‘ROC22’‘云蔗 00-290’‘云蔗 01-286’‘云蔗 06-160’‘云蔗 12-201’‘云蔗 12-251’‘云蔗 12-198’‘云蔗 12-142-1-J’‘云蔗 14-357’‘云蔗 16-16’‘滇蔗 11-726’‘滇蔗 11-728’‘闽牧 101 (CK1)’‘闽牧 117 (CK2)’。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计 参试材料定植时间为 2021 年 1 月 28 日。试验地先整地再划分小区，整地进行土壤全耕翻处理，平整表土，除尽杂草。试验采取完全随机区组设计，每个材料两行区 3 个重复，

株行距 3.1 m×1 m，每行下种量 30 个芽，人工条播，覆土后盖地膜，四周设保护行。相同水肥管理和病虫害防治。

1.2.2 样品采集 参试材料分别于 2021 年 6 月 15 日、9 月 25 日进行刈割，每个材料每行随机选择 3~5 株，3 次重复，称鲜重。切成 1~2 cm 左右长度，混匀，然后用四分法分出 2 kg，于 65℃烘箱烘干制成风干样品，粉碎过 40 目筛孔，以备分析。

1.2.3 指标测定 生物产量：所有参试材料全部刈割后，立即分别称鲜重，然后换算出单位面积鲜重。

常规营养成分测定：水溶性碳水化合物 (WSC) 用苯酚硫酸法测定；水分先经 65℃烘干至恒重制成风干样品记录初水分，干物质 (DM) 含量=100%-含水量 (WC) %；粗蛋白 (CP) 参照国标 GB 6432—2018 的方法测定；粗脂肪 (EE) 参照国标 GB 6433—2006 的方法测定；粗灰分 (Ash) 参照 GB/T 6438—92 的方法测定；中性洗涤纤维 (NDF) 参照 GB/T 20806—2006 的方法测定；酸性洗涤纤维 (ADF) 参照国标 NY/T 1459—2007 的方法测定；木质素 (ADL) 参照国标 GB/T 20805—2006 的方法测定；钙 (Ca) 参照国际 GB 5009.92—2016 的方法测定；磷 (P) 参照国标 GB 5009.87—2016 的方法测定。

主成分分析：参照田宏等^[18]的方法。

CP、ADF、EE、Ca 产量计算公式为：单位面积干物质产量×某营养成分含量；WSC 产量计算公式为：单位面积生物产量×WSC 含量。

1.3 数 据 处 理

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 软件作图，利用 SPSS 26.0 软件采用最小显著差数法 (LSD) 对主要营养成分进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同品种材料营养成分的主成分和相关性分析

对 17 个不同品种材料的营养成分 DM、WSC、CP、EE、Ash、NDF、ADF、ADL、Ca、P 含量等 10 个指标 (表 1) 进行因子主成分分析。根据主成分的方差大于 1 的原则提取主成分，共提取了 4 个主成分 (表 2、表 3)，其中第一主成分的特征值为 2.158，贡献率为 21.579%，对应特征向量中，数量较大的性状为 DM、WSC、Ash 含量，

表 1 原始数据平均值
Tab. 1 Average of raw data

品种 Cultivar	DM	CP	NDF	ADF	ADL	EE	WSC	Ash	Ca	P
Q27	16.69	7.69	64.82	36.75	4.87	1.31	5.11	7.03	0.52	0.17
FR93-910	17.90	7.88	69.45	38.67	5.42	1.24	3.02	7.19	0.61	0.22
CP72-3709	15.27	7.78	67.89	38.12	5.08	1.11	2.58	7.35	0.57	0.21
ROC22	15.60	8.42	65.43	35.24	4.86	1.22	3.50	7.99	0.61	0.15
云蔗 00-290	21.19	7.24	68.64	39.74	5.37	1.19	6.16	6.34	0.55	0.13
云蔗 01-286	18.31	7.23	67.15	35.17	5.02	1.40	2.65	6.38	0.66	0.19
云蔗 06-160	17.18	8.08	67.15	36.41	4.77	0.95	3.91	7.35	0.59	0.21
云蔗 12-201	19.13	8.80	67.53	37.80	4.76	1.45	3.91	7.42	0.58	0.18
云蔗 12-251	18.80	7.74	66.40	37.83	4.51	1.28	3.44	7.10	0.62	0.20
云蔗 12-198	17.72	7.54	64.27	39.20	4.27	1.39	2.72	7.02	0.63	0.16
云蔗 12-142-1-J	17.59	7.73	68.73	35.38	4.50	1.36	4.21	7.47	0.57	0.18
云蔗 14-357	20.04	8.23	68.94	38.43	3.77	1.26	3.21	7.06	0.62	0.22
云蔗 16-16	17.59	7.60	66.82	40.28	4.81	1.34	5.15	7.56	0.59	0.22
滇蔗 11-726	16.95	6.66	65.43	37.92	4.40	1.33	5.50	7.50	0.46	0.23
滇蔗 11-728	18.89	6.88	60.54	36.29	4.70	1.36	5.25	7.08	0.60	0.21
闽牧 101 (CK1)	16.44	7.51	63.07	40.02	4.99	1.22	3.51	7.44	0.67	0.23
闽牧 117 (CK2)	17.54	8.26	66.07	37.20	5.03	1.51	4.10	7.36	0.51	0.34

表 2 主成分提取分析

Tab. 2 Principal component extraction and analysis

主成分 Component	特征值 Eigen values	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Cumulative contribution/%
1	2.158	21.579	21.579
2	1.884	18.838	40.417
3	1.339	13.390	53.807
4	1.327	13.275	67.082
5	1.042	10.419	77.501
6	0.938	9.376	86.877
7	0.634	6.339	93.216
8	0.433	4.332	97.548
9	0.191	1.909	99.458
10	0.054	0.542	100.000

表 3 主成分分析结果

Tab. 3 Principal component analysis results

成分 Component	主成分 Principal component				
	I	II	III	IV	V
干物质	0.722	0.387	-0.256	0.394	-0.034
粗蛋白	-0.643	0.303	0.011	0.525	-0.079
中性洗涤纤维	-0.068	0.523	0.376	0.657	-0.131
酸性洗涤纤维	0.299	0.114	0.154	0.136	0.809
木质素	0.093	0.066	0.639	-0.146	0.192
粗脂肪	0.184	-0.327	-0.661	0.307	-0.016
水溶性碳水化合物	0.661	-0.548	0.295	0.104	-0.141
粗灰分	-0.735	-0.473	0.111	0.062	0.028
钙	-0.197	0.707	-0.356	-0.433	0.234
磷	-0.265	-0.469	-0.19	0.358	0.499

相对应的相关系数分别为 0.722、0.661、-0.735；第二主成分的特征值为 1.884，贡献率为 18.838%，对应的特征向量中主要表现在 Ca、WSC、NDF 含量方面；第三主成分的特征值为 1.339，贡献率为 13.390%，数量较大的是 EE、ADL 含量，相关系数为 -0.661、0.639；第四主成分的特征值为 1.327，贡献率为 13.275%，数量较大的是 CP 和 NDF 含量，相关系数为 0.525、0.657；第五主成分的特征值为 1.042，贡献率为 10.419%，数量较大的是 ADF，相关系数为 0.809。以上 5 个主成分的累计贡献率为 77.501%，基本包含了所测指标的全部信息。

为了进一步筛选主要指标，对这 10 项营养成分进行相关性分析，表 4 结果表明，DM 含量与 Ash 含量呈极显著负相关 ($r=-0.652^{**}$)，与 NDF、ADF、EE、Ca 呈正相关，CP 含量与 WSC 呈显著负相关 ($r=-0.414^{**}$)，与 ADF、ADL、EE 呈负相关，说明在饲草中 CP 含量越高，WSC 含量越低；WSC 含量与 Ca 含量呈极显著负相关 ($r=-0.616^{**}$)。综合主成分分析和各指标相关性分析及牧草中重要营养成分，在第一主成分下选择 WSC，第二主成分下选择 Ca 含量来代表牧草中矿物质营养，第三主成分选择 EE，第四主成分选择 CP，第五主成分下选择 ADF 来代表牧草中纤维成分，共选出 5 个主要指标。

表 4 各指标之间的相关系数
Tab. 4 Correlation coefficients between indicators

成分 Component	DM	CP	NDF	ADF	ADL	EE	WSC	Ash	Ca
CP	-0.074								
NDF	0.248	0.405							
ADF	0.227	-0.115	0.068						
ADL	-0.145	-0.036	0.102	0.059					
EE	0.211	-0.026	-0.207	-0.083	-0.160				
WSC	0.310	-0.414*	-0.204	0.136	0.133	0.090			
Ash	-0.652**	0.402	-0.140	-0.088	-0.168	-0.065	-0.069		
Ca	0.095	0.138	-0.087	0.067	-0.021	-0.142	-0.616**	-0.186	
P	-0.174	0.090	-0.094	0.070	-0.023	0.246	-0.079	0.258	-0.243

注：*表示显著相关 ($P<0.05$)，**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

2.2 不同品种材料主要营养成分比较分析

2.2.1 15个甘蔗品种与2个牧草甘蔗品种主要营养成分比较分析 由表5可见,15个甘蔗品种的CP、ADF含量与CK1、CK2不存在显著差异,其中‘ROC22’‘云蔗12-201’的CP含量超过CK1、CK2;‘Q27’‘ROC22’‘云蔗01-286’‘云蔗06-160’‘云蔗12-142-1-J’‘滇蔗11-728’的ADF含量比CK1、CK2低;‘Q27’‘云蔗00-290’‘云蔗12-142-1-J’‘云蔗16-16’‘滇蔗11-726’‘滇蔗11-728’的WSC含量比CK1、CK2高;15个甘蔗品种EE含量均低于CK2,但与CK2之

间(除‘云蔗06-160’)无显著差异。其中,EE含量比CK1低的是‘CP72-3709’‘云蔗00-290’‘云蔗06-160’;15个甘蔗品种(除‘滇蔗11-726’)的Ca含量超过CK2,且与CK1无显著差异。
2.2.2 甘蔗不同刈割期主要营养成分变化分析 15个甘蔗品种和2个牧草甘蔗品种不同刈割期粗蛋白含量变化规律如图1所示,‘ROC22’2次刈割CP含量无明显变化,其余16个甘蔗品种的第二次刈割期的CP含量均明显小于第一次刈割时期;ADF含量第二次刈割比第一次刈割增加的有‘云蔗06-160’‘云蔗12-201’‘云蔗12-198’‘云蔗

表 5 不同品种材料主要营养成分分析
Tab. 5 Analysis of main nutritional components of different varieties

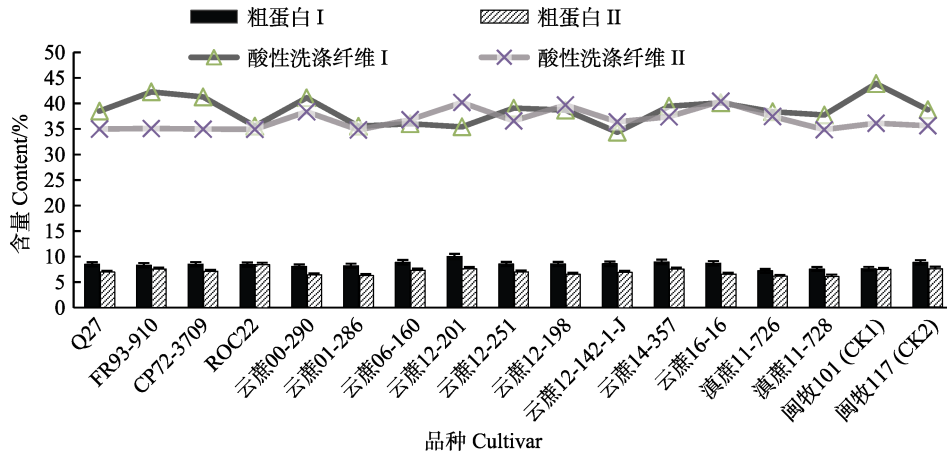
品种 Cultivar	粗蛋白 CP	酸性洗涤纤维 ADF	水溶性碳水化合物 WSC	粗脂肪 EE	钙 Ca
Q27	7.69±0.80 ^a	36.75±1.76 ^a	5.11±0.80 ^{abc}	1.31±0.14 ^{ab}	0.52±0.02 ^{ab}
FR93-910	7.89±0.44 ^a	38.67±3.59 ^a	3.02±0.26 ^d	1.24±0.23 ^{ab}	0.61±0.02 ^{ab}
CP72-3709	7.78±0.74 ^a	38.12±3.15 ^a	2.58±0.08 ^d	1.11±0.17 ^{ab}	0.57±0.02 ^{ab}
ROC22	8.42±0.02 ^a	35.25±0.31 ^a	3.51±0.55 ^{cd}	1.23±0.33 ^{ab}	0.61±0.02 ^{ab}
云蔗 00-290	7.24±0.83 ^a	39.75±1.37 ^a	6.16±0.38 ^a	1.19±0.24 ^{ab}	0.56±0.06 ^{ab}
云蔗 01-286	7.23±0.98 ^a	35.17±0.36 ^a	2.66±0.69 ^d	1.40±0.13 ^{ab}	0.66±0.14 ^a
云蔗 06-160	8.09±0.81 ^a	36.42±0.40 ^a	3.91±0.27 ^{bcd}	0.95±0.10 ^b	0.59±0.00 ^{ab}
云蔗 12-201	8.80±1.23 ^a	37.80±2.39 ^a	3.92±0.05 ^{bcd}	1.45±0.16 ^{ab}	0.58±0.01 ^{ab}
云蔗 12-251	7.74±0.80 ^a	37.83±1.24 ^a	3.44±0.15 ^d	1.28±0.10 ^{ab}	0.62±0.05 ^{ab}
云蔗 12-198	7.54±1.01 ^a	39.20±0.52 ^a	2.72±0.26 ^d	1.39±0.03 ^{ab}	0.63±0.00 ^{ab}
云蔗 12-142-1-J	7.74±0.86 ^a	35.38±1.01 ^a	4.21±0.06 ^{bcd}	1.36±0.17 ^{ab}	0.57±0.07 ^{ab}
云蔗 14-357	8.23±0.73 ^a	38.43±1.03 ^a	3.21±0.20 ^d	1.26±0.11 ^{ab}	0.62±0.01 ^{ab}
云蔗 16-16	7.60±1.09 ^a	40.28±0.16 ^a	5.16±0.18 ^{ab}	1.34±0.11 ^{ab}	0.59±0.00 ^{ab}
滇蔗 11-726	6.66±0.55 ^a	37.93±0.47 ^a	5.50±1.29 ^{ab}	1.33±0.06 ^{ab}	0.46±0.04 ^b
滇蔗 11-728	6.88±0.70 ^a	36.30±1.44 ^a	5.25±0.57 ^{ab}	1.36±0.03 ^{ab}	0.60±0.06 ^{ab}
闽牧 101 (CK1)	7.51±0.11 ^a	40.02±3.88 ^a	3.52±0.19 ^{cd}	1.22±0.02 ^{ab}	0.68±0.13 ^a
闽牧 117 (CK2)	8.26±0.62 ^a	37.20±1.57 ^a	4.11±0.07 ^{bcd}	1.51±0.01 ^a	0.52±0.04 ^{ab}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。表中营养成分数据为2次刈割平均值。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$). Table nutrient composition data for two cutting average.

12-142-1-J’ ‘云蔗 16-16’ 5 个甘蔗品种, 其余各品种材料的 ADF 含量第一次刈割均大于第二次刈割 (图 1); ‘云蔗 12-198’ ‘云蔗 12-142-1-J’ ‘云蔗 16-16’ 和 ‘滇蔗 11-726’、CK1 的 WSC 含量第一次刈割比第二次刈割时期高, 其余 12 个甘蔗品种 WSC 含量第二次刈割均大于第一次刈割时期, ‘Q27’ ‘滇蔗 11-726’ ‘滇蔗 11-728’ 的 WSC 含量在不同刈割期变化最大, 而 ‘滇蔗 11-726’ 的 WSC 含量第二次刈割时明显降低; EE

含量第一次刈割时期比第二次刈割时期高的只有 ‘云蔗 06-160’ ‘云蔗 12-201’ ‘云蔗 12-251’ 等 3 个品种, 有 13 个甘蔗品种 EE 含量第二次刈割时期均大于第一次刈割时期, CK2 变化幅度极小, 2 次刈割 ‘滇蔗 11-726’ 的 Ca 含量相同, ‘云蔗 00-290’ 和 ‘滇蔗 11-728’ 第二次刈割时期的钙含量超过第一次刈割 (图 2)。可见, 不同甘蔗品种在不同刈割期营养成分积累有所差异, 但大部分甘蔗品种不同刈割期营养成分差异不大。

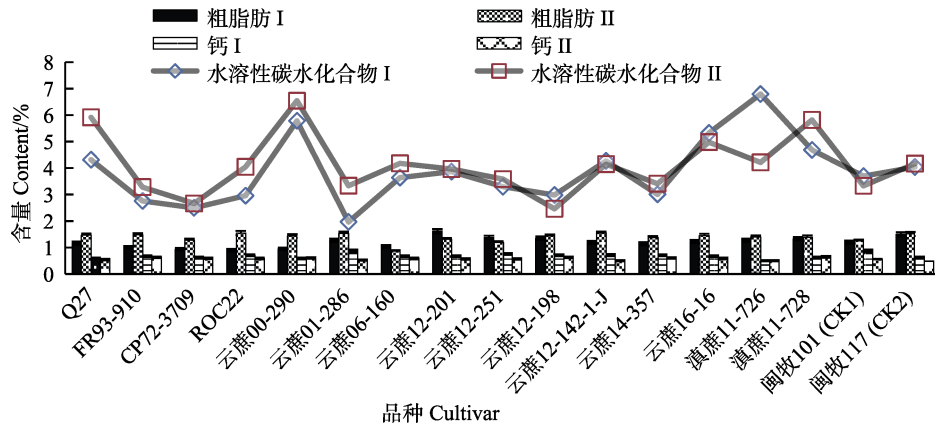


I 表示第一次刈割, II 表示第二次刈割。

I means the first cutting, II means the second cutting.

图 1 不同刈割时期甘蔗粗蛋白和酸性洗涤纤维含量变化分析

Fig. 1 Analysis of changes of crude protein and acid wash fiber content in sugarcane at different cutting stages



I 表示第一次刈割, II 表示第二次刈割。

I means the first cutting, II means the second cutting.

图 2 不同刈割时期甘蔗水溶性碳水化合物、粗脂肪和钙含量变化分析

Fig. 2 Analysis on changes of water soluble carbohydrate, crude fat and calcium content in sugarcane at different cutting stages

2.3 甘蔗饲用可行性评价

2.3.1 不同品种材料不同刈割期生物产量表现
由表 6 可以看出, 不同品种之间生物产量表现不一, 同一个品种不同刈割期生物产量也有差异。15 个甘蔗品种中, 2 次刈割生物产量合计最高为 ‘云

蔗 01-286’, 达到 163.95 t/hm², 其次是 ‘云蔗 16-16’, 为 147.75 t/hm², 第三是云蔗 00-290, 为 136.50 t/hm², 最低的是 ‘云蔗 12-251’, 为 71.40 t/hm²; 15 个甘蔗品种 2 次刈割合计产量在 71.40~163.95 t/hm² 之间, 均超过 CK1、CK2。20

表 6 不同品种材料全株植物生物产量分析

Tab. 6 Analysis of whole plant biomass of different varieties t/hm²

品种 Cultivar	2 次刈割生物产量 Biological yield of twice cutting		合计 Total
	I	II	
Q27	58.20	60.30	118.50
FR93-910	40.20	69.00	109.20
CP72-3709	62.70	69.60	132.30
ROC22	34.65	40.50	75.15
云蔗 00-290	63.75	72.75	136.50
云蔗 01-286	57.45	106.50	163.95
云蔗 06-160	47.10	67.80	114.90
云蔗 12-201	52.50	63.60	116.10
云蔗 12-251	28.20	43.20	71.40
云蔗 12-198	43.80	48.45	92.25
云蔗 12-142-1-J	33.60	51.90	85.50
云蔗 14-357	43.95	28.50	72.45
云蔗 16-16	83.70	64.05	147.75
滇蔗 11-726	38.40	36.00	74.40
滇蔗 11-728	54.60	56.85	111.45
闽牧 101(CK1)	24.15	37.50	61.65
闽牧 117(CK2)	13.35	10.65	24.00

个不同饲草品种，生物产量从大到小依次为：‘云蔗 01-286’ > ‘云蔗 16-16’ > ‘云蔗 00-290’ > ‘CP72-3709’ > ‘Q27’ > ‘云蔗 12-201’ > ‘云蔗 06-160’ > ‘滇蔗 11-728’ > ‘FR93-910’ > ‘云蔗 12-198’ > ‘云蔗 12-142-1-J’ > ‘ROC22’ > ‘滇蔗 11-726’ > ‘云蔗 14-357’ > ‘云蔗 12-251’

> ‘闽牧 101’ > ‘闽牧 117’。综合上述（表 3、表 4）分析评价，生物产量、CP 含量高于对照组 CK1、CK2，ADF 含量低于对照组 CK1、CK2，筛选出‘ROC22’最合适做为反刍动物的饲料甘蔗；生物产量、WSC 含量高于对照组 CK1、CK2，ADF 含量低于对照组 CK1、CK2，筛选出‘Q27’最合适做为反刍动物的饲料甘蔗。不同时期，甘蔗生长速度不同，但是，大多是甘蔗品种第二次刈割产量都高于第一次，这与开远地区 6 月 15 日至 9 月 25 日期间，气温和降雨大于第一个生长期等因素直接相关；产量最高的前五位分别是‘Q27’‘CP72-3709’‘云蔗 00-290’‘云蔗 01-286’‘云蔗 16-16’，基本呈现出第二次刈割时期产量比第一次高。

2.3.2 甘蔗与饲料甘蔗营养成分产量比较分析
从表 7 可以看出，不同品种材料的单位面积营养成分总量存在一定的差异。CP 产量最高的是‘云蔗 00-290’和‘云蔗 01-286’，分别为 2.09 t/hm²、2.17 t/hm²，最低的是 CK2，为 0.35 t/hm²；ADF 产量最高的是‘云蔗 00-290’，为 11.50 t/hm²，最低的是 CK2，为 1.57 t/hm²；WSC 产量最高的是‘云蔗 00-290’，为 8.41 t/hm²，最低的是 CK2，为 0.99 t/hm²；EE 产量最高的是‘云蔗 01-286’，为 0.42 t/hm²，最低的是 CK2，为 0.06 t/hm²；Ca 产量最高的是‘云蔗 00-290’，为 0.16 t/hm²。15 个甘蔗品种的 CP、ADF、WSC、EE 产量均高于

表 7 不同品种材料营养成分产量比较

Tab. 7 Comparison of nutrient yield of different varieties

品种 Cultivar	干物质 DM/%	干物质产量 DM yield (t·hm ⁻²)	粗蛋白产量 CP yield (t·hm ⁻²)	酸性洗涤纤维产量 ADF yield (t·hm ⁻²)	水溶性碳水化合物产量 WSC yield (t·hm ⁻²)	粗脂肪产量 EE yield (t·hm ⁻²)	钙产量 Ca yield (t·hm ⁻²)
Q27	16.69	19.77	1.52	7.27	6.06	0.26	0.10
FR93-910	17.90	19.54	1.54	7.56	3.30	0.24	0.12
CP72-3709	15.27	20.21	1.57	7.70	3.41	0.22	0.12
ROC22	15.60	11.72	0.99	4.13	2.63	0.14	0.07
云蔗 00-290	21.19	28.93	2.09	11.50	8.41	0.34	0.16
云蔗 01-286	18.31	30.02	2.17	10.56	4.35	0.42	0.20
云蔗 06-160	17.18	19.74	1.60	7.19	4.49	0.19	0.12
云蔗 12-201	19.13	22.20	1.95	8.39	4.55	0.32	0.13
云蔗 12-251	18.80	13.42	1.04	5.08	2.46	0.17	0.08
云蔗 12-198	17.72	16.35	1.23	6.41	2.51	0.23	0.10
云蔗 12-142-1-J	17.59	15.04	1.16	5.32	3.60	0.20	0.08
云蔗 14-357	20.04	14.52	1.19	5.58	2.33	0.18	0.09
云蔗 16-16	17.59	25.99	1.98	10.47	7.62	0.35	0.15
滇蔗 11-726	16.95	12.61	0.84	4.78	4.09	0.17	0.06
滇蔗 11-728	18.89	21.05	1.45	7.64	5.85	0.29	0.13
闽牧 101(CK1)	16.44	10.14	0.76	4.06	2.17	0.12	0.07
闽牧 117(CK2)	17.54	4.21	0.35	1.57	0.99	0.06	0.02

CK1 和 CK2, 15 个甘蔗品种的 Ca 产量超过 CK2, 且超过 CK1 的亦有 13 个甘蔗品种。

2.3.3 甘蔗饲用综合评价 15 个甘蔗品种中, 生物产量均超过 CK1、CK2, CP 含量超过 CK1、CK2 的有 2 个, ADF 含量低于 CK1、CK2 的有 6 个, WSC 含量超过 CK1、CK2 的有 6 个, 15 个甘蔗品种的 EE 含量均低于 CK2, 但与 CK2 之间 (除 ‘云蔗 06-160’) 无显著差异, 而 12 个甘蔗品种的 EE 含量均高于 CK1 (表 6、表 7)。从单位面积营养成分产量比较分析表明, 15 个甘蔗品种的 CP、ADF、WSC、EE 产量均高于 CK1 和 CK2 (表 7), 15 个甘蔗品种的 Ca 产量超过 CK2。综合营养成分、生物产量及单位面积营养成分产量, 评价筛选出相对较好的 5 个甘蔗品种作为饲料甘蔗品种来源, 分别为 ‘Q27’ ‘ROC22’ ‘云蔗 01-286’ ‘云蔗 12-201’ 和 ‘滇蔗 11-728’。

3 讨论

反刍动物对饲草饲料的需求, 其重要指标是生物产量 (或干草产量), 甘蔗有南方热区优势。本研究 15 个甘蔗品种生物产量 2 次刈割合计最高可收获达 163.95 t/hm², 如每年收获 3 次 (一个生长周期), 每公顷预计最高可收获 200 t 左右, 按 280~300 元/t, 总产值可达 5.6~6.0 万元。本研究中没有第三次生物产量 (甘蔗生长周期当年 1 月至翌年 1—2 月)。甘蔗最佳适宜刈割期 (生长时间) 及其主成分含量需要进一步试验。本研究从 10 个营养成分筛选出 5 个主要成分指标, 分别为 CP、ADF、WSC、EE、Ca, 与牧草主要营养成分相关研究结果一致, 今后可用于饲料甘蔗品种的营养成分研究和饲料甘蔗品种筛选。甘蔗产业是云南省的优势农业产业, 种植的面积、产量在我国排名第 2, 目前针对云南省不同刈割期甘蔗生物产量和成分研究及饲用价值评价方面尚未报道。前人对甘蔗稍的饲用价值研究较多, 本研究中, 甘蔗不同刈割期营养成分和生物产量存在一定的差异, 这可能受品种特性、温度、光照强度、湿度等影响^[19]。不同品系的甘蔗的农艺性状除了本身的遗传因素的影响外, 还受到田间管理、气候和土壤环境的影响。不同品种的属性需要通过多点多年的试验才能更加准确地判断出各个品系的特点, 才能更好地做好优良品种的推广工作。

甘蔗饲用和一年 2~3 次刈割是可行的, 生物产量均超过 2 个饲料甘蔗品种; 就品质而言, 甘

蔗 CP 含量比 CK1、CK2 高的有 2 个, ADF 含量比 CK1、CK2 低的有 6 个, WSC 含量比 CK1、CK2 高的有 6 个, 15 个甘蔗品种的 EE 含量均低于 CK2, 但与 CK2 之间 (除 ‘云蔗 06-160’) 无显著差异, 其中有 12 个甘蔗品种的 EE 含量高于 CK1, 有 13 个甘蔗品种的 Ca 含量超过 CK2。所以, 品质指标是甘蔗饲用品种筛选的关键。高产、高品质是综合指标。本研究通过测定分析甘蔗生物产量及 10 个青饲料常规营养成分, 并与其他饲草饲料比较分析, 评价甘蔗饲用价值, 为甘蔗饲用提供了科学依据, 不但为多用途甘蔗品种选育奠定良好基础, 而且极大地推动糖畜产业联动发展。

综上所述, 甘蔗饲用可行, 并具有巨大潜力。一是在现有甘蔗品种材料中, 筛选营养成分较好的甘蔗品种作为饲用甘蔗品种, 采用一年 3 次刈割的模式, 为反刍动物提供饲草饲料供给, 特别是冬季。二是按照 4 个主要营养成分指标的要求, 筛选优良甘蔗种质资源, 进行甘蔗杂交育种, 把饲料甘蔗品种选育作为反刍动物饲料作物品种来源, 也是甘蔗品种多元化的发展方向。最终实现糖畜互动生产结构和模式, 共同联动发展, 无需压缩甘蔗种植面积, 实现经济效益的稳定发展。

参考文献

- [1] 中国产业调研网. 2020 年中国反刍动物饲料行业发展调研与发展趋势分析报告[R]. <https://www.cir.cn/>
China Industry Research Network. 2020 China's ruminant feed industry development research and development trend analysis report[R]. <https://www.cir.cn/>. (in Chinese)
- [2] 韩友文. 饲料与饲养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
HAN Y W. Feed and feeding science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998. (in Chinese)
- [3] 韩璐璐, 丛玉艳. 日粮粗蛋白水平对反刍动物瘤胃发酵和微生物区系影响的研究进展[J]. 现代畜牧兽医, 2015(1): 49-52.
HAN L L, CONG Y Y. Effects of dietary crude protein levels on rumen fermentation and microflora of ruminants[J]. Modern Animal Husbandry and Veterinary, 2015(1): 49-52. (in Chinese)
- [4] 陈玉香, 周道玮, 张玉芬. 玉米营养成分时空动态[J]. 应用生态学报, 2004(9): 1589-1593.
CHEN Y X, ZHOU D W, ZHANG Y F. Spatiotemporal dynamics of nutrients in maize[J]. Applied Ecology, 2004 (9): 1589-1593. (in Chinese)
- [5] 嘎尔迪, 齐智利, 卢寿锋. 奶牛碳水化合物营养的研究进

- 展[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2003, 24(1): 103-109.
- GA E D, QI Z L, LU S F. The progress of carbohydrates nutrition research on dairy cow[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2003, 24(1): 103-109. (in Chinese)
- [6] 王贤, 赵廷宁, 丁国栋, 陈默君. 牧草栽培学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- WANG X, ZHAO T N, DING G D, CHEN M J. Forage cultivation[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006. (in Chinese)
- [7] 邓蓉, 向清华. 草地施肥对草食家畜生产能力的影响[J]. 四川草原, 2004(7): 11-13.
- DENG R, XIANG Q H. Effects of grassland fertilization on production capacity of herbivorous livestock[J]. Sichuan Grassland, 2004(7): 11-13. (in Chinese)
- [8] WHEELER W E, NOLLER C H, WHITE J. Effect of level of calcium and sodium bicarbonate in high concentrate diets on performance and nutrient utilization by beef steers[J]. Journal of Animal Science, 1981, 53(2): 499-515.
- [9] 钟声, 文际坤, 周自玮, 杨世平. 甘蔗的饲用价值及在肉牛业中的应用前景[J]. 养殖技术顾问, 2003(7): 15.
- ZHONG S, WEN J K, ZHOU Z W, YANG S P. Feeding value of sugarcane and its application prospect in beef cattle industry[J]. Breeding Technical Consultant, 2003(7): 15. (in Chinese)
- [10] 洪琼花. 甘蔗饲料资源的开发利用[J]. 云南畜牧兽医, 1999(2): 41-42.
- HONG Q H. Development and utilization of sugarcane feed resources[J]. Yunnan Animal Husbandry and Veterinary, 1999(2): 41-42. (in Chinese)
- [11] PATE F M, ALVAREZ J, PHILLIPS J D, Eiland B R. Sugarcane as a cattle feed: production and utilization[J]. Bulletin, 2002, 844: 1-21.
- [12] 曾东火, 王水琦, 郭陈福, 王子琳, 潘世明. 发展饲料甘蔗的新思路[J]. 甘蔗, 1995(4): 34-35.
- ZENG D H, WANG S Q, GUO C F, WANG Z L, PAN S M. New ideas for developing feed sugarcane[J]. Sugarcane, 1995(4): 34-35. (in Chinese)
- [13] 曾日秋. 牧草蔗闽牧 117 新品种选育与利用价值[J]. 热带农业科学, 2016, 36(4): 55-58.
- ZENG R Q. Breeding and utilization value of new forage sugarcane variety Minmu 117[J]. Tropical Agricultural Science, 2016, 36(4): 55-58. (in Chinese)
- [14] 黄文琴, 吕小康, 王世琴, 杨承剑, 蒋小刚, 刁其玉, 张乃锋. 全株甘蔗对山羊生长性能、营养物质表观消化率、血清指标及瘤胃发酵参数的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(12): 5182-5191.
- HUANG W Q, LYU X K, WANG S Q, YANG C J, JIANG X G, DIAO Q Y, ZHANG N F. Effects of whole plant sugarcane on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum indexes and rumen fermentation parameters of goats[J]. Animal Nutrition Journal, 2018, 30(12): 5182-5191. (in Chinese)
- [15] 郑宇慧, 都文, 黄文明, 李胜利. 全株甘蔗的奶牛瘤胃降解特性及其替代奶牛饲粮苜蓿、燕麦草及精料的应用研究[J]. 畜牧兽医学报, 2020, 51(11): 2743-2756.
- ZHENG Y H, DU W, HUANG W M, LI S L. Rumen degradation characteristics of whole plant sugarcane and its application in substituting alfalfa, oatgrass and concentrate for dairy cattle[J]. Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2020, 51(11): 2743-2756. (in Chinese)
- [16] 徐英, 王汝贵, 王锐, 郑锦玲, 李天平, 李乔仙, 高月娥, 段正山, 杨国荣. 全株甘蔗与全株大麦混合青贮饲养肉牛效果观察[J]. 养殖与饲料, 2014(2): 15-17.
- XU Y, WANG R G, WANG R, ZHENG J L, LI T P, LI Q X, GAO Y E, DUAN Z S, YANG G R. Observation on the effect of whole-plant sugarcane and whole-plant barley mixed silage on beef cattle[J]. Breeding and Feed, 2014(2): 15-17. (in Chinese)
- [17] 卢川北, 洪月云. 四季常青、高产优质的 C4 亚热带牧草新品系 94-42 育成报告[J]. 中国草地, 1998(5): 13-17.
- LU C B, HONG Y Y. Report on the breeding of new C4 subtropical forage line 94-42 with evergreen four seasons, high yield and good quality[J]. Chinese Grassland, 1998, 5: 13-17. (in Chinese)
- [18] 田宏, 熊海谦, 熊军波, 张鹤山, 蔡化, 刘洋. 采用主成分分析和隶属函数法综合评价 14 份青贮玉米品种的生产性能[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(2): 249-259.
- TIAN H, XIONG H Q, XIONG J B, ZHANG H S, CAI H, LIU Y. The principal component analysis and membership function method were used to comprehensively evaluate the production performance of 14 silage maize varieties[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2015, 37(2): 249-259. (in Chinese)
- [19] 黄潮华. 饲用甘蔗家系评价及品系的饲用价值分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- HUANG C H. Evaluation of feeding sugarcane families and analysis of feeding value of strains[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018. (in Chinese)